

AF-2881

Attorney Docket No.: PHNL000578

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

APPLICATION NO.: 10/043,389

ART UNIT: 2881

APPLICANT(S): Jan Martijn Krans et al

EXAMINER: Phillip A. Johnston

FILING DATE: 10/26/2001

TITLE: SEM Provided with an Adjustable Final Electrode in the Electrostatic Objective

TRANSMITTAL


Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Applicants submit a copy of the priority document as requested by the Examiner on the December 24, 2003 Office Action.

Applicants responded via facsimile to the December 24, 2003 Office Action and, in the facsimile response, extended the period to respond to April 26, 2004.

Respectfully submitted,

Date: 4/26/04

By: 
Michael O. Scheinberg
Patent Reg. No. 36,919
P.O. Box 164140
Austin, Texas 78716-4140
Telephone: (512) 328-9510
Facsimile: (512) 306-1963

CERTIFICATE OF MAILING

I hereby certify that this paper or fee is being deposited with the United States Postal Service as First-Class Mail in an envelope addressed to the Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450, on April 26, 2004.

By: 
Name: Margarita Marquez-Escalona

34



THIS PAGE BLANK (USPTO)

Approved for release by the President



**Europäisches
Patentamt**

**European
Patent Office**

**Office européen
des brevets**

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten europäischen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the European patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet européen spécifiée à la page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

00203786.9

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

I.L.C. HATTEN-HECKMAN

DEN HAAG, DEN
THE HAGUE, 12/10/01
LA HAYE, LE

THIS PAGE BLANK (USPTO)



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

**Blatt 2 der Bescheinigung
Sheet 2 of the certificate
Page 2 de l'attestation**

Anmeldung Nr.:
Application no.:
Demande n°: 00203786.9

Anmeldetag:
Date of filing:
Date de dépôt: 31/10/00

Anmelder:
Applicant(s):
Demandeur(s):
Koninklijke Philips Electronics N.V.
5621 BA Eindhoven
NETHERLANDS

Bezeichnung der Erfindung:
Title of the invention:
Titre de l'invention:
NO TITLE

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s) revendiquée(s)

Staat:
State:
Pays:

Tag:
Date:
Date:

Aktenzeichen:
File no.
Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation:
International Patent classification:
Classification internationale des brevets:

/

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten:
Contracting states designated at date of filing: AT/BE/CH/CY/DE/DK/ES/FI/FR/GB/GR/IE/IT/LI/LU/MC/NL/PT/SE/TR
Etats contractants désignés lors du dépôt:

Bemerkungen:
Remarks:
Remarques:

See for original title of the application page 1 of the description

SEM met instelbare eindelektrode van het elektrostatische objectief.

De uitvinding betreft een deeltjes-optisch toestel,

* voorzien van een deeltjesbron voor het voortbrengen van een primaire bundel van elektrisch geladen deeltjes die langs een optische as van het toestel verlopen,

* voorzien van een preparaatdrager voor een met het toestel te bestralen

5 preparaat,

* voorzien van een focusseerinrichting voor het met behulp van elektrostatische elektroden voortbrengen van een focus van de primaire bundel in de omgeving van de preparaatdrager,

* voorzien van detectie-middelen voor het detecteren van van het preparaat in
10 responsie op het invallen van de primaire bundel afkomstige elektrisch geladen deeltjes, welke detectie-middelen zijn aangebracht vóór de focusseerinrichting gezien vanuit de voortplantingsrichting van de elektrisch geladen deeltjes in de primaire bundel,

* voorzien van een elektrostatische eindelektrode aangebracht direct voor de
15 preparaatdrager gezien vanuit de voortplantingsrichting van de elektrisch geladen deeltjes in de primaire bundel.

Een dergelijk toestel is bekend uit het gepubliceerde Internationale Octrooiaanvraag WO 99/34397. In het aldaar beschreven toestel wordt een gebied van een te onderzoeken preparaat afgetast met een primaire gefocusseerde bundel van elektrisch geladen
20 deeltjes, in het algemeen elektronen, die langs een optische as van het toestel verlopen. Een zodanig toestel staat bekend onder de naam Scanning Elektronen Microscop (SEM).

Bij bestraling van het te onderzoeken preparaat worden in het preparaat elektrisch geladen deeltjes zoals secundaire elektronen, vrijgemaakt met een aanzienlijk lagere energie dan die van de primaire bundel, b.v. in de orde van grootte van 1-5 eV. De
25 energie en/of de energieverdeling van deze secundaire elektronen geeft informatie over de aard en samenstelling van het preparaat. Het is dus nuttig dat een SEM voorzien is van een detectie-inrichting (detector) voor secundaire elektronen. Deze elektronen worden vrijgemaakt aan die zijde van het preparaat waar de primaire bundel invalt waarna ze tegen de invalrichting van de primaire elektronen in terug bewegen. Plaatst men in de baan van de

aldus terug bewegende secundaire elektronen een detector (b.v. voorzien van een op een positieve spanning gebrachte elektrode) dan worden de secundaire elektronen door deze elektrode ingevangen en geeft de detector een elektrisch signaal af dat evenredig is met de op deze wijze gedetecteerde elektrische stroom. Aldus wordt op bekende wijze de (secundaire elektronen-)afbeelding van het preparaat tot stand gebracht. In verband met de kwaliteit van de afbeelding, in het bijzonder de snelheid waarmee de afbeelding wordt opgenomen en het signaal/ruisverhouding, is het nuttig dat de gedetecteerde stroom zo groot mogelijk is, dus dat de detectie-efficiency van de secundaire elektronen bij voorkeur in de buurt van 100% ligt.

Er bestaat heden ten dage een trend om SEM's zo klein mogelijk uit te voeren.

- 10 Afgezien van economische motieven (kleinere toestellen zijn i.h.a. goedkoper te vervaardigen), heeft dit het voordeel dat deze toestellen door hun gemakkelijke verplaatsbaarheid en geringe ruimtebehoefte niet alleen als laboratoriuminstrument ingezet kunnen worden, maar ook als hulpmiddel bij de productie van kleine structuren zoals geïntegreerde circuits. In dit gebied kan een geminiaturiseerde SEM zowel voor directe
- 15 productie als voor inspectie van producten worden gebruikt. Bij directe productie kan de SEM gebruikt worden voor het met elektronen schrijven van een patroon op het te produceren IC. Bij toepassing voor inspectie kan de SEM gebruikt worden voor het tijdens het schrijven met een andere deeltjesbundel (b.v. een ionenbundel voor implantatie in het te produceren IC) waarnemen van dat proces, terwijl het ook mogelijk is de SEM te gebruiken
- 20 voor het on-line inspecteren van een IC nadat een bewerkingsfase in de fabricage is uitgevoerd.

- Voor miniaturisatie van een SEM is het aantrekkelijk om gebruik te maken van een elektrostatisch objectief omdat dat kleiner uitgevoerd kan worden dan een magnetische lens. Dit wordt veroorzaakt door de afwezigheid van de noodzaak van
- 25 koelmiddelen (i.h.b. koelleidingen voor de lensspoel), en doordat ter voorkoming van magnetische verzadiging het magnetische (ijzer-)circuit van de lens een zeker minimaal volume moet hebben. Bovendien zijn vanwege de tegenwoordige eisen met betrekking tot hoogvacuüm in de preparaatruimte elektrostatische elektroden (die zijn uitgevoerd als gladde metalen oppervlakken) aantrekkelijker dan de oppervlakken van een magnetische lens die
- 30 vaak van spoelen, draden en/of vacuümringen voorzien zijn. Tenslotte is, zoals algemeen bekend in de deeltjes-optica, een elektrisch veld beter geschikt als lens voor zware deeltjes (ionen) dan een magnetisch veld. In de bekende SEM heeft het objectief twee elektrostatische elektroden die samen een vertragend stelsel vormen voor de primaire bundel.

De plaatsing van de detector voor de secundaire elektronen in de bekende SEM vóór de focusseerinrichting heeft het voordeel dat bij toepassing van de SEM bij waarneming van IC's ook gemakkelijker in putvormige oneffenheden gekeken kan worden; men neemt immers waar langs dezelfde lijn als waarlangs de primaire bundel invalt.

- 5 Bovendien zou plaatsing van een detector terzijde van het objectief en direct boven het preparaat het nadeel bieden dat in dat geval de detector zou verhinderen dat de afstand van het objectief tot het preparaat niet zo klein gemaakt kan worden als wenselijk is met het oog op de sterke verkleining van de elektronenbron om de voor de vereiste resolutie voldoende kleine afmeting van de scannende elektronenspot te verkrijgen. Voorts komt het bij gebruik
- 10 van een elektrostatisch objectief in een SEM vaak voor dat het elektrostatische lensveld van het objectief zich tot buiten de fysieke begrenzing van het objectief, dus mogelijk tot aan het preparaat, uitstrekt. (Dit elektrische veld tussen de eindelektrode van het objectief en het preparaat wordt wel het lekveld genoemd.) Het resultaat van het lekveld is dat van het preparaat uitgaande secundaire elektronen door het lekveld worden aangetrokken. Een b.v.
- 15 terzijde van het objectief geplaatste detector zou dan een veel sterker aanzuigende werking moeten hebben, waardoor de primaire bundel ontoelaatbaar beïnvloed zou worden. Dit nadelige effect wordt vermeden door de plaatsing van de detector boven het objectief. Wanneer de door het lekveld aangetrokken secundaire elektronen door de boring van het objectief zijn gegaan worden ze door het daar aanwezige elektrische veld versnelt tot een
- 20 energiewaarde die overeenkomt met de potentiaal in de ruimte voor het objectief. De aldus versnelde elektronen hebben nu voldoende energie verkregen om het detectormateriaal te exciteren zodat detectie mogelijk is.

- In de SEM zoals bekend uit het genoemde Internationale Octrooiaanvraag WO 99/34397 wordt de het dichtst bij de preparaatdrager geplaatste elektrode van het objectief
- 25 gevormd door de genoemde elektrostatische eindelektrode die is aangebracht direct voor de preparaatdrager gezien vanuit de voortplantingsrichting van de elektrisch geladen deeltjes in de primaire bundel. Aan het genoemde octrooidocument is geen informatie te ontleen over de potentiaal van deze eindelektrode; het is echter gebruikelijk dat deze eindelektrode dezelfde potentiaal heeft als het met de SEM te bestralen preparaat.

- 30 Bij het onderzoeken van een preparaat is het vaak gewenst om spanningscontrast te kunnen waarnemen, d.w.z. dat gebieden van het preparaat die onderling in potentiaal verschillen (b.v. in de orde van grootte van enkele Volts) een verschillende intensiteit in de afbeelding vertonen, dus dat er contrast tussen die gebieden ontstaat. Dit is in het bijzonder wenselijk bij het onderzoeken van geïntegreerde circuits, waarin de

aanwezigheid van defecten juist tot uiting komt door het al dan niet aanwezig zijn van spanningsverschillen op het circuit. Het contrast komt als volgt tot stand. Zoals bekend hebben de meeste secundaire elektronen die het oppervlak van het preparaat verlaten een energie die ligt tussen 0 en 10 eV. Echter, in het geval dat een gebied op het

- 5 preparaatoppervlak een zekere spanning vertoont (b.v. een elektrode in een halfgeleidercircuit) zullen deze secundaire elektronen een overeenkomstige minimale energie moeten hebben om het uittreden uit het oppervlak in dat gebied mogelijk te maken. Dat betekent dat alle secundaire elektronen met een energie die lager is dan het genoemde bedrag niet kunnen uittreden en dus niet bijdragen aan de totale secundaire elektronenstroom. B.v.
- 10 een elektron dat door de primaire bundel wordt geactiveerd met een energie van b.v. 5 eV in een preparaatgebied met een spanning van b.v. 3 V zal het oppervlak kunnen verlaten, maar een elektron met een energie van b.v. 2 eV in dat preparaatgebied zal het oppervlak niet kunnen verlaten. De totale secundaire elektronenstroom afkomstig uit een bepaald gebied zal dus afhangen van de spanning van dat preparaatgebied. Daardoor zal verschil in intensiteit
- 15 tussen verschillende spanningsgebieden ontstaan.

- Een ander belangrijk aspect bij de waarneming van het preparaat wordt gevormd door de collectie-efficiency, d.w.z. de fractie van het totaal aantal geëmitteerde secundaire elektronen dat uiteindelijk bijdraagt aan het gedetecteerde signaal. Vanwege de signaal-ruisverhouding in het beeld wenst men een zeker minimum aantal elektronen per
- 20 pixel van het beeld te detecteren, maar omdat het opbouwen van een beeld van het preparaat tijdens een scan van de primaire bundel in een redelijk korte tijd moet plaats vinden (bij voorkeur in de orde van grootte van seconden in plaats van uren) heeft men niet de mogelijkheid om zeer lang over de waarneming van een pixel te doen. Dit betekent dat men zo weinig mogelijk secundaire elektronen verloren moet laten gaan voor detectie. Elektronen
- 25 kunnen b.v. voor detectie verloren gaan door hun energieverdeling waardoor elektronen met een relatief hoge thermische energie aan het zuigveld ontsnappen. Ook door onderlinge botsingen, door botsingen met restgasionen of door een lage uittreehoek uit het preparaat kunnen secundaire elektronen aan het zuigveld ontsnappen. Om dit nadelige effect tegen te gaan zou men een sterk zuigveld wensen, b.v. in de orde van grootte van 100 V.

- 30 Het is duidelijk dat de eis van een goed spanningscontrast niet goed verenigbaar is met de eis van een goede collectie-efficiency.

De uitvinding beoogt een deeltjes-optisch toestel van de in de aanhef vermelde soort te verschaffen waarin tegemoet gekomen kan worden aan de eisen m.b.t. goede collectie-efficiency en die van goed spanningscontrast. Daartoe is het toestel overeenkomstig

de uitvinding daardoor gekenmerkt dat het toestel voorzien is van voedingsmiddelen voor het instellen van een potentiaalverschil tussen het met het toestel te bestralen preparaat en de eindelektrode.

De uitvinding is gebaseerd op het inzicht dat voor een goede
5 waarnemingssituatie een optimum gezocht moet worden tussen een goed spanningscontrast en een goede collectie-efficiency, en dat dit optimum zal afhangen van de aard van het te onderzoeken preparaat, van de waarnemingssituatie (b.v. preparaat gekanteld t.o.v. de primaire bundel of loodrecht, waarneming aan vlak oppervlak of in een putvormige verdieping in het preparaat) of van nog andere waarnemingsparameters. Doordat de
10 eindelektrode in spanning instelbaar is gemaakt kan per waarneming gezocht worden naar b.v. een goed spanningscontrast waarbij nog geen significante verslechtering van de signaal-ruisverhouding optreedt. Zo zal bij waarneming van details op de boden van een putvormige verdieping (met een aspect ratio van b.v. 4:1) een veel hogere spanning aan het preparaatoppervlak nodig zijn om op de putbodem een voldoende zuigveld te veroorzaken
15 voor het collecteren van de secundaire elektronen van de putbodem dan bij waarneming van details aan het preparaatoppervlak. Ook bij een gekanteld preparaat kan het zuigveld zodanig door de kanteling vervormd zijn dat daarvoor compensatie door een potentiaalverandering van de eindelektrode aan te brengen.

In een voorkeursuitvoering van de uitvinding wordt de eindelektrode gevormd
20 door de zich het dichtst bij de preparaatdrager bevindende elektrode van de focusseerinrichting. Op deze wijze wordt de ruimte tussen het objectief en het preparaat geheel vrij gehouden voor beweging van het preparaat t.o.v. de primaire bundel, i.h.b. kanteling van het preparaat.

In een andere uitvoering van de uitvinding wordt de eindelektrode gevormd
25 door een zich tussen de zich het dichtst bij de preparaatdrager bevindende elektrode van de focusseerinrichting en de preparaatdrager bevindende elektrode, welke elektrode rotatiesymmetrisch rond de optische as is. Hoewel op deze wijze enige vrijheid m.b.t. de preparaatbeweging wordt prijs gegeven, wordt op deze wijze bereikt dat door het instellen van de spanning op de eindelektrode het elektrisch veld ter plaatse van het
30 preparaatoppervlak naar wens regelbaar is zonder dat de optische eigenschappen van het objectief daardoor gewijzigd worden. Tevens heeft deze maatregel gunstige eigenschappen bij het detecteren van secundaire elektronen afkomstig van de bodem van een putvormige verdieping in het preparaat. Om deze elektronen uit deze putvormige verdieping te kunnen aantrekken is een relatief hoge spanning van de eindelektrode vereist, b.v. 1 kV bij een

afstand tot het preparaat van 1 mm. Zou men deze spanning aan de laatste elektrode van het objectief toevoeren dan zouden daardoor de optische eigenschappen daarvan ongewenst sterk veranderen. Bovendien heeft deze extra elektrode in combinatie met de eindelektrode van het objectief een zekere lenswerking waardoor de teruggestraalde bundel van secundaire elektronen een focuspunt ter hoogte van objectief heeft en daardoor ter plaatse van het detectoroppervlak een relatief grote doorsnede. Hierdoor wordt vermeden dat deze smalle bundel grotendeels teruggestraald wordt door de opening in de detector zodat deze bundel dan niet gedetecteerd zou worden.

In een nog andere uitvoering van de uitvinding is de eindelektrode symmetrisch verdeeld in een aantal elektrisch onderling gescheiden segmenten rondom de optische as. Op deze wijze is het mogelijk om de bundel van secundaire elektronen verder te beïnvloeden. Zo is het mogelijk de secundaire bundel aan een afbuigende werking te onderwerpen door de eindelektrode in twee of meer segmenten te verdelen zodat een dipoolveld gesuperponeerd kan worden op het oorspronkelijke rotatiesymmetrische elektrische veld. Het effect hiervan is dat de secundaire bundel enigszins scheef door de opening van het objectief gericht wordt, zodat hierdoor eveneens vermeden wordt dat deze bundel voor een belangrijk deel teruggestraald wordt door de opening in de detector zodat deze bundel dan niet gedetecteerd zou worden. De secundaire bundel kan nu in zijn geheel terzijde van de opening in de detector op het detectoroppervlak gericht worden, zodat nagenoeg de gehele elektronenstroom in de secundaire bundel gedetecteerd wordt.

In weer een andere uitvoering van de uitvinding wordt de eindelektrode gevormd door een elektrode die zich bevindt tussen de zich het dichtst bij de preparaatdrager bevindende elektrode van de focusseerinrichting en de preparaatdrager, welke eindelektrode zich geheel aan één zijde van de optische as bevindt. Zoals aan de hand van één der uitvoeringsvoorbeelden zal worden aangetoond heeft deze uitvoering bijzondere voordelen m.b.t. de verdeling van het elektrische zuigveld bij toepassing met gekantelde preparaten, waarbij het voordeel van bewegingsvrijheid van het preparaat niet verloren gaat.

De uitvinding zal nader worden beschreven aan de hand van de figuren, waarbij gelijke verwijzingscijfers overeenkomstige elementen aanduiden. Daarbij toont:

Figuur 1 : een schematische weergave van een relevant deel van een deeltjes-optisch toestel volgens de uitvinding;

Figuur 2a : de verdeling van het elektrisch veld buiten de elektrodenstructuur van een objectief in een bekend deeltjes- optisch toestel;

Figuur 2b : de verdeling van het elektrisch veld buiten de elektrodenstructuur van een objectief volgens figuur 1;

5 Figuur 3a : een grafische voorstelling van het gemeten spanningscontrast van secundaire elektronen in een deeltjes-optisch toestel volgens de uitvinding;

Figuur 3b : een grafische voorstelling van de gemeten detectie-efficiency van secundaire elektronen in een deeltjes-optisch toestel volgens de uitvinding;

10 Figuur 4a : een schematische weergave van de veldverdeling in de omgeving van een gekanteld preparaat in een deeltjes-optisch toestel volgens de uitvinding;

Figuur 4b : een grafische voorstelling van de gesimuleerde detectie-efficiency van secundaire elektronen in een deeltjes-optisch toestel volgens figuur 4a;

15 Figuur 5a : een schematische weergave van de veldverdeling in de omgeving van een gekanteld preparaat en een plaatvormige elektrode in een deeltjes- optisch toestel volgens de uitvinding;

Figuur 5b : een grafische voorstelling van de gesimuleerde detectie-efficiency in een deeltjes-optisch toestel volgens figuur 5a;

Figuur 6 : een uitvoering van de uitvinding met een rotatiesymmetrische indelektrode tussen het objectief en het preparaat.

20

Figuur 1 toont een overzicht van een relevant gedeelte van een SEM volgens de uitvinding. De elektronenbron en alle verdere van de elektronen-optische kolom deel uitmakende elementen voor het versnellen en sturen van de primaire bundel zijn voor zover zij niet relevant zijn voor de uitvinding niet weergegeven. De in figuur 1 niet weergegeven
25 primaire bundel verloopt langs de optische as 4 van de SEM. Daarbij passeert de primaire bundel achtereenvolgens een detectorkristal 6, een elektrostatische versnellingsselektrode 8, een eerste elektrische afbuigelektrode 10, een tweede elektrische afbuigelektrode 12, een eerste elektrostatische van het objectief deel uitmakende elektrode 14 en een tweede elektrostatische van het objectief deel uitmakende elektrode 16. Tenslotte komen de
30 elektronen van de primaire bundel aan op het te onderzoeken of te bewerken preparaat 18.

Het detectorkristal 6 maakt deel uit van detectie-middelen voor het detecteren van van het preparaat in responsie op het invallen van de primaire bundel afkomstige elektronen. Dit detectorkristal bestaat uit een stof (b.v. met Cerium gedoteerd Yttrium Aluminium Granaat, "Yttrium Aluminum Garnet", YAG) die in responsie op het invangen

van een elektron van voldoende energie een lichtpuls voortbrengt; deze lichtpuls wordt verder geleid met behulp van niet weergegeven optische geleidemiddelen en in een opto-elektrische omzetter omgezet in een elektrisch signaal waaruit desgewenst een afbeelding van het preparaat kan worden verkregen. Deze laatstgenoemde elementen maken eveneens deel
5 uit van de genoemde detectie-middelen. Het detectorkristal 6 is voorzien van een boring voor het doorlaten van de primaire bundel.

De elektrostatische versnellingselektrode 8 maakt deel uit van het elektrodensetel 8, 14, 16, van welk setel de elektroden 14 en 16 het voor het focuseren van de primaire bundel dienende objectief van de SEM vormen. De elektrode 8 heeft de vorm
10 van een vlakke plaat met een boring voor de primaire bundel, en is in de vorm van een geleidend oxide, b.v. Indium-en/of Tin-oxide, op het detectie-materiaal, i.h.b. op het detectie-opervlak van het scintillatiekristal 6 aangebracht. Door middel van een niet weergegeven voedingseenheid kan elektrode 8 op een gewenste spanning, b.v. 9 kV, ingesteld worden.

De eerste en de tweede elektrische afbuigelektrode 10 resp. 12 maken deel uit
15 van een bundel-afbuigsetel voor het afbuigen van de primaire bundel. Elk van de beide elektroden is uitgevoerd in de vorm van een buisdeel dat aan de buitenzijde de vorm heeft van een rechte cirkelcilinder en aan de binnenzijde een in de richting van de bundel toelopende kegelvorm heeft. Elk van deze elektroden 10 en 12 is met twee zaagsneden in onderling loodrechte vlakken door de optische as verdeeld in vier gelijke delen, zodat de
20 elektroden 10 en 12 door het aanbrengen van geschikte spanningsverschillen tussen de delen elk elektrische dipoolvelden kunnen voortbrengen in zowel de x- als de y-richting, waardoor de primaire bundel over het preparaat 18 gescand kan worden en waardoor de baan van de zich in de richting van het detectorkristal bewegende secundaire elektronen beïnvloed kan worden. Het is ook mogelijk om de elektroden 10 en 12 niet in vier delen te verdelen maar in
25 een groter aantal, b.v. door vier zaagsneden in een vlak door de optische as in acht gelijke delen. Door het aanbrengen van de juiste spanningen op de diverse delen van elk der elektroden kan het aldus ontstane setel niet slechts gebruikt worden voor het afbuigen van de bundel, maar kan dit setel tevens als stigmator dienen.

De eerste en de tweede elektroden 14 en 16 vormen het elektrodestel dat het
30 objectief van de SEM vormt. Elektrode 14 heeft zowel inwendig als uitwendig de vorm van een naar beneden toelopende kegel, zodat deze elektrode binnen elektrode 16 past. Elektrode 16 heeft eveneens zowel inwendig als uitwendig de vorm van een naar beneden toelopende kegel; de uitwendige kegelvorm biedt optimaal de ruimte voor het behandelen van relatief grote preparaten zoals bij de IC-fabricage gebruikte cirkelvormige wafers, die een diameter

van 300 mm kunnen hebben. Door de uitwendige kegelvorm van elektrode 16 heeft men de mogelijkheid de primaire bundel onder een tamelijk grote hoek te laten invallen door de wafer onder het objectief te laten kantelen zonder de wafer daarbij te hinderen met van het objectief uitstekende delen. Met behulp van een stippellijn 20 is in de figuur nog het gebied
5 aangegeven waar de lenswerking door het elektrische objectiefveld (dus het paraxiale midden van het objectief) gelokaliseerd gedacht kan worden.

Door het objectief 14, 16 wordt de primaire bundel zodanig gefocusseerd dat de elektronenbron met in het algemeen zeer sterke verkleining wordt afgebeeld op het (geaarde) preparaat; door deze sterke verkleining is de afstand van het oppervlak van het
10 preparaat 18 tot aan het lensmidden 20 (de beeldafstand) zeer klein hetgeen, zoals hierboven reeds was aangeduid, de mogelijkheid van kantelen sterk zou beperken bij een niet-conisch verloop van de buitenzijde van elektrode 16.

In de figuur is het verloop van enkele elektronenbanen in het deeltjes-optisch instrument weergegeven. Het verloop van deze banen is met een computersimulatie
15 verkregen; daarbij zijn de volgende aannamen gedaan : de spanning waarmee de primaire bundel versneld is bedroeg 10 kV, de energie van het secundaire elektron is 1 eV, het preparaat is geaard, de spanning V_d op de detector is 9 kV, de spanningen op elektrode 10 zijn $9+2=11$ kV en $9-2=7$ kV, de spanningen op elektrode 12 zijn $9-1,8=7,2$ kV en $9+1,8=10,8$ kV. Bij de weergave van de elektronenbanen in de figuur staat elektrode 16 op
20 dezelfde potentiaal als het preparaat 18.

De in het samenstel van detector, afbuigelektroden en objectief invallende primaire bundel 22 (in deze figuur slechts schematisch weergegeven met een streeplijn) verloopt aanvankelijk langs de optische as 4. Door de werking van het door elektrode 10
opgewekte elektrische afbuigveld wordt de bundel van de as af afgebogen waarna deze
25 bundel door de werking van het door elektrode 12 opgewekte, tegengestelde afbuigveld weer naar de as wordt toe gebogen. Het effect is dat de primaire bundel de optische as ver onder de afbuigelektroden 10 en 12 snijdt. Door de plaatsing en door het met twee tegengestelde velden uitvoeren van het bundel-afbuigstelsel is bereikt dat het kantelpunt in het middenvlak 20 van het objectief ligt, zodat ongeacht de grootte van de scanbeweging van de primaire
30 bundel een groot gezichtsveld en een minimale afbeeldingfout ontstaat. Dit verschijnsel is duidelijk in de figuur waar te nemen, waar te zien is dat de primaire bundel na afbuiging door de afbuigvelden de optische as 4 snijdt in het middenvlak 20.

Door het invallen van de primaire bundel 22 op het preparaat 18 worden secundaire elektronen uit het preparaat vrijgemaakt, die zich onder invloed van het elektrische veld van het objectief, van het afbuigstelsel en van de detectorspanning naar boven bewegen. In de figuur is een baan 24 van zo'n secundair elektron weergegeven. Het
5 secundaire elektron wordt in de boring van het objectief getrokken, waarna het onder invloed van de deflectorvelden komt. In de figuur is het effect van elektrische afbuigvelden weergegeven met baan 26.

Tussen de elektrode 16 en het preparaat 18 zijn voedingsmiddelen voor het instellen van een potentiaalverschil tussen het met het toestel te bestralen preparaat 18 en de
10 elektrode 16, in de vorm van een in spanning instelbare spanningsbron 28.

In figuur 2a wordt de verdeling van het elektrisch veld buiten de elektrodestructuur van het objectief in een bekend deeltjes-optisch toestel weergegeven, d.w.z. een situatie waarin de elektrode 16 dezelfde potentiaal heeft als het preparaat. In deze figuur is voor de duidelijkheid de primaire bundel weggelaten, maar deze wordt op het
15 preparaat 18 gefocusseerd. In de figuur is de bundel 22 van secundaire elektronen schematisch weergegeven. Deze bundel verlaat het preparaat 18 in een klein gebied rond het focuspunt van de primaire bundel en wordt naar boven gaand gefocusseerd binnen het objectief 14,16. De aanvangsenergie van de secundaire elektronen is hierbij op 5 eV gesteld. In deze figuur was de bekrachtiging van het objectief 12 kV. In de figuur zijn vijf
20 equipotentiaallijnen 30a, 30b, 30c, 30d en 30e getekend die een potentiaal vertegenwoordigen van resp. 2 V, 4 V, 6 V, 8 V en 10 V. Uit deze figuur is duidelijk dat aan het oppervlak van het preparaat 18 een potentiaal in de orde van grootte van 10 V aanwezig is. Daardoor worden vrijwel alle secundaire elektronen in het objectief getrokken zodat een goede collectie-efficiency wordt verkregen. In figuur 2b wordt de verdeling van het
25 elektrisch veld buiten de elektrodestructuur van een objectief volgens figuur 1 weergegeven, waarbij de elektrode 16 op een potentiaal van -100 V is ingesteld. In deze figuur was de bekrachtiging van het objectief 12 kV. In deze figuur is voor de duidelijkheid de primaire bundel weggelaten, maar deze wordt eveneens op het preparaat 18 gefocusseerd. In deze figuur zijn weer vijf equipotentiaallijnen 30a, 30b, 30c, 30d en 30e getekend die in deze
30 figuur een potentiaal vertegenwoordigen van resp. 2 V, 4 V, 6 V, 8 V en 10 V. Deze lijnen liggen in de hier weergegeven situatie aanzienlijk verder van het preparaatoppervlak af. Het gevolg hiervan is dat de secundaire elektronen (waarvan de banen zijn weergegeven binnen het gebied 32) slechts gedeeltelijk in de richting van de elektrode 16 kunnen bewegen; dit zijn de secundaire elektronen die onder een relatief grote hoek met het preparaatoppervlak

uittreden. De banen van deze elektronen zijn in de figuur aangeduid met verwijzingscijfer 34. Andere secundaire elektronen treden onder een hoek met het preparaatoppervlak uit die niet groot genoeg is om die elektronen voldoende energie te geven in de richting van het aanzuigende veld en de elektrode 16. Deze secundaire elektronen keren weer terug naar het preparaat en nemen dus geen deel aan de afbeelding. In de figuur zijn de banen van deze secundaire elektronen aangeduid met verwijzingscijfer 36.

In figuur 3a wordt een grafische voorstelling weergegeven van het gemeten spanningscontrast in een deeltjes-optisch toestel volgens de uitvinding, terwijl in figuur 3b een grafische voorstelling weergegeven wordt van de daarbij gemeten detectie-efficiency in dat deeltjes-optisch toestel. Deze beide figuren zijn als volgt tot stand gekomen. Een te onderzoeken preparaat is voorzien van geleidende strips waarvan er één is ingesteld op een spanning van 0 V en de ander is ingesteld op een spanning van +2 V. De intensiteit van de secundaire elektronen afkomstig van de beide strippen wordt vergeleken en op grond daarvan wordt het spanningscontrast bepaald. De spanning op de elektrostatische versnellingselektrode 8 en op de afbuigelektroden was 6 kV, de focusseerspanning op het objectief was 12 kV. De afstand tussen de eindelektrode 16 en het snijpunt van de optische as en het preparaatoppervlak was 2 mm. Het preparaat was niet gekanteld. De spanning op de elektrode 16 van het objectief is instelbaar tussen 0 V en -200 V. Onder spanningscontrast is bij deze figuren te verstaan de verhouding tussen de elektrische stromen van secundaire elektronen afkomstig van elk van de genoemde strips. Uit vergelijking van de beide figuren blijkt dat het meest gevoelige gebied voor het spanningscontrast ligt rond -100 V (waar de verhouding tussen secundaire elektronenstromen afkomstig van elk van de genoemde strips een extreme waarde heeft); bij die waarde is de collectie-efficiency nog ongeveer 50%. Door het verminderen van de versnelling van de secundaire elektronen wordt de detectie-efficiency verminderd, zoals in figuur 3b te zien is. Bij die metingen waarbij men behoefte heeft aan een betere detectie-efficiency en waarbij men kan volstaan met minder spanningscontrast is het nu mogelijk door variatie van de spanning op elektrode 16 een andere, meer gunstige situatie te kiezen.

In figuur 4a wordt de veldverdeling in de omgeving van een gekanteld preparaat 18 in een deeltjes-optisch toestel weergegeven. Het preparaat maakt een hoek van 45 graden met de optische as. De spanning op de elektrostatische versnellingselektrode 8 en op de afbuigelektroden 10 en 12 was +10 kV, de focusseerspanning op het objectief was +12 kV. De afstand tussen de eindelektrode 16 en het snijpunt van de optische as met het preparaatoppervlak was 4 mm. In de figuur zijn de equipotentiaallijnen van het lekveld

weergegeven, alle bij 0 V elektrodespanning op elektrode 16. Door het kantelen van het preparaat is de rotatie-symmetrie van het lekveld ernstig verstoord waardoor de collectie-efficiency van de secundaire elektronen sterk beïnvloed wordt. Wanneer b.v. de elektrode 16 dezelfde potentiaal heeft als het preparaat (de elektrodespanning is dan dus 0 V) is de

5 collectie-efficiency van secundaire elektronen in de orde van grootte van 10%. Het blijkt in de weergegeven situatie mogelijk om de collectie-efficiency op te voeren door de potentiaal van de elektrode 16 te variëren; het resultaat daarvan wordt weergegeven in figuur 4b.

Figuur 4b toont een grafische voorstelling van de detectie-efficiency van secundaire elektronen in het deeltjes-optisch toestel volgens figuur 4a, welke grafiek met een

10 computer-simulatie verkregen is. In deze grafiek is de potentiaal van elektrode 16 gevarieerd tussen 0 V en -200 V. Dat de collectie-efficiency hier aanvankelijk verbeterd wordt door het aanleggen van een negatieve potentiaal op de eindelektrode kan daardoor verklaard worden dat hierdoor de afbuigende werking door het genoemde dipoolveld uit de richting van de

15 lensopening teniet wordt gedaan; de secundaire elektronen worden nu minder naar de zijwand van de eindelektrode getrokken en meer naar de opening van die elektrode. Hieruit blijkt dat ook bij een gekanteld preparaat de detectie-efficiency door de juiste instelling van de potentiaal van de eindelektrode aanzienlijk verhoogd kan worden; in de weergegeven grafiek blijkt zelfs een waarde van 80% bereikt te worden bij een elektrodepotentiaal van -125 V.

20 In figuur 5a wordt de veldverdeling in de omgeving van een gekanteld preparaat 18 en een plaatvormige elektrode 40 in een deeltjes-optisch toestel weergegeven. De plaatvormige elektrode 40 bevindt zich geheel aan één zijde van de optische as. Deze heeft een rechte rand die loodrecht op het vlak van tekening staat. Het preparaat maakt een hoek van 45 graden met de optische as. De spanning op de elektrostatische

25 versnellingslektrode 8 en op de afbuigelektroden 10 en 12 was +10 kV, de focusseerspanning op het objectief was +12 kV. De afstand tussen de eindelektrode 16 en het snijpunt van de optische as met het preparaatoppervlak was 4 mm, terwijl de plaat 40 zich 5 mm onder de onderzijde van de eindelektrode bevindt op een afstand van 0.1 mm van het preparaatoppervlak. In de figuur zijn de equipotentiaallijnen van het lekveld weergegeven,

30 alle bij 0 V spanning op elektrode 16 en -100 V spanning op plaat 40. Evenals in figuur 4a is door het kantelen van het preparaat de rotatie-symmetrie van het lekveld ernstig verstoord, maar door de aanwezigheid van plaat 40 wordt de afbuigende werking van de dipoolveld-component tenietgedaan en wordt de collectie-efficiency van de secundaire elektronen daardoor opgevoerd. Het resultaat daarvan wordt weergegeven in figuur 5b.

Figuur 5b toont een grafische voorstelling van de detectie-efficiency van secundaire elektronen in het deeltjes-optisch toestel volgens figuur 5a, welke grafiek met een computer-simulatie verkregen is. In deze grafiek is de potentiaal van plaat 40 gevarieerd
5 tussen 0 V en -200 V, zowel bij een potentiaal van elektrode 16 van 0 V als van -125 V. Bij een potentiaal van elektrode 16 van 0 V blijkt het variëren van de potentiaal van plaat 40 een vergelijkbaar effect te hebben als het variëren van de spanning op elektrode 16 in figuur 4b, zij het dat de spanningswaarden in figuur 5b anders liggen dan in figuur 4b door de kleinere afstand tussen plaat 40 en het preparaatoppervlak. Uit figuur 5b blijkt dat ook bij een
10 gekanteld preparaat de detectie-efficiency door de juiste instelling van de potentiaal van de eindelektrode (hier: plaat 40) aanzienlijk verhoogd kan worden; in de weergegeven grafiek blijkt zelfs een waarde van ongeveer 95% bereikt te worden bij een plaatpotentiaal van -70 V.

In figuur 6 is een uitvoering van de uitvinding met een rotatiesymmetrische eindelektrode 42 tussen het objectief en het preparaat weergegeven. Deze eindelektrode 42
15 kan nagenoeg dezelfde vorm hebben als elektrode 16, maar kan b.v. ook de vorm hebben van een vlakke, ronde schijf. Daarmee wordt bereikt dat het elektrisch veld ter plaatse van het preparaatoppervlak naar wens regelbaar is zonder dat de optische eigenschappen van het objectief daardoor sterk gewijzigd worden. Bovendien kunnen secundaire elektronen afkomstig van de bodem van een putvormige verdieping in het preparaat daarmee
20 gedetecteerd worden, waarvoor Daarvoor een relatief hoge spanning van de eindelektrode 42 vereist is, b.v. 1 kV bij een afstand tot het preparaat van 1 mm. Een zodanige spanning gesuperponeerd op de objectiefspanning kan de optische eigenschappen daarvan ongewenst sterk veranderen. Bovendien heeft deze extra elektrode 42 in combinatie met de
eindelektrode van het objectief nog een zekere lenswerking waardoor de secundaire bundel
25 ter plaatse van het detectoroppervlak een relatief grote doorsnede heeft zodat wordt vermeden dat de bundel grotendeels teruggestraald wordt door de opening in de detector.

Het is mogelijk om de eindelektrode 42 te verdelen in een aantal elektrisch onderling gescheiden segmenten rondom de optische as 4. (Deze segmentering is niet in de figuur weergegeven.) Door aan de segmenten verschillende spanningen toe te voeren kan de
30 secundaire bundel afgebogen worden. Dit kan uitgevoerd worden door de eindelektrode 42 in twee, vier of meer segmenten te verdelen. Bij twee segmenten wordt een vaste afbuigrichting verkregen, bij vier segmenten kan de afbuigrichting willekeurig ingesteld worden en bij meer segmenten (acht b.v.) kunnen hogere orde termen in het afbuigveld verkleind worden zodat ongewenste vervorming van de secundaire bundel verminderd wordt. Het effect hiervan is

dat de secundaire bundel enigszins scheef door de opening van het objectief gericht wordt, zodat hierdoor eveneens vermeden wordt dat deze bundel voor een belangrijk deel teruggestraald wordt door de opening in de detector. De primaire bundel wordt door deze segmentering niet of nauwelijks beïnvloed doordat deze een veel hogere energie heeft dan de

5 secundaire bundel.

CONCLUSIES:

(91)

- 1 Deeltjes-optisch toestel,
* voorzien van een deeltjesbron voor het voortbrengen van een primaire bundel (22) van elektrisch geladen deeltjes die langs een optische as (4) van het toestel verlopen,
* voorzien van een preparaatdrager voor een met het toestel te bestralen
5 preparaat (18),
* voorzien van een focusseerinrichting (14,16) voor het met behulp van elektrostatische elektroden voortbrengen van een focus van de primaire bundel in de omgeving van de preparaatdrager,
* voorzien van detectie-middelen (6) voor het detecteren van van het preparaat
10 in responsie op het invallen van de primaire bundel afkomstige elektrisch geladen deeltjes, welke detectie-middelen zijn aangebracht vóór de focusseerinrichting gezien vanuit de voortplantingsrichting van de elektrisch geladen deeltjes in de primaire bundel,
* voorzien van een elektrostatische eindelektrode aangebracht direct voor de preparaatdrager gezien vanuit de voortplantingsrichting van de elektrisch geladen deeltjes in
15 de primaire bundel, daardoor gekenmerkt
dat het toestel is voorzien van voedingsmiddelen (28) voor het instellen van een potentiaalverschil tussen het met het toestel te bestralen preparaat (18) en de eindelektrode.
- 20 2 Deeltjes-optisch toestel volgens conclusie 1 waarin de eindelektrode wordt gevormd door de zich het dichtst bij de preparaatdrager bevindende elektrode (16) van de focusseerinrichting (14,16).
- 3 Deeltjes-optisch toestel volgens conclusie 1 waarin de eindelektrode wordt
25 gevormd door een zich tussen de zich het dichtst bij de preparaatdrager bevindende elektrode (16) van de focusseerinrichting (14,16) en de preparaatdrager (18) bevindende elektrode (42), welke elektrode (42) rotatiesymmetrisch rond de optische as (4) is.

- 4 Deeltjes-optisch toestel volgens conclusie 2 of 3 waarin de eindelektrode (42) symmetrisch verdeeld is in een aantal elektrisch onderling gescheiden segmenten rondom de optische as (4).
- 5 5 Deeltjes-optisch toestel volgens conclusie 1 waarin de eindelektrode wordt gevormd door een elektrode (40) die zich bevindt tussen de zich het dichtst bij de preparaatdrager bevindende elektrode (16) van de focusseerinrichting (14,16) en de preparaatdrager (18), welke eindelektrode (40) zich geheel aan één zijde van de optische as (4) bevindt.

17

EPO - DG 1

20.10.2000

ABSTRACT:

31. 10. 2000

(91)

SEM with an electrostatic objective lens 14,16 and a detector 6,8 for through-the-lens detection of secondary electrons (SE's) 24. Good collection efficiency of the SE's would require a relatively high electrical field near the surface of the specimen 18, whereas good voltage contrast (voltage range in the order of 1-5 V) would require a moderate electrical field near the surface of the specimen. According to the invention an adjustable voltage source is provided for adjusting at will the voltage of the final electrode 16 with respect to the specimen, such that the voltage contrast and the collection efficiency can be adjusted according to the measurement requirements to an optimum value.

10 Figure 1.

31. 10. 2000

1/9

91

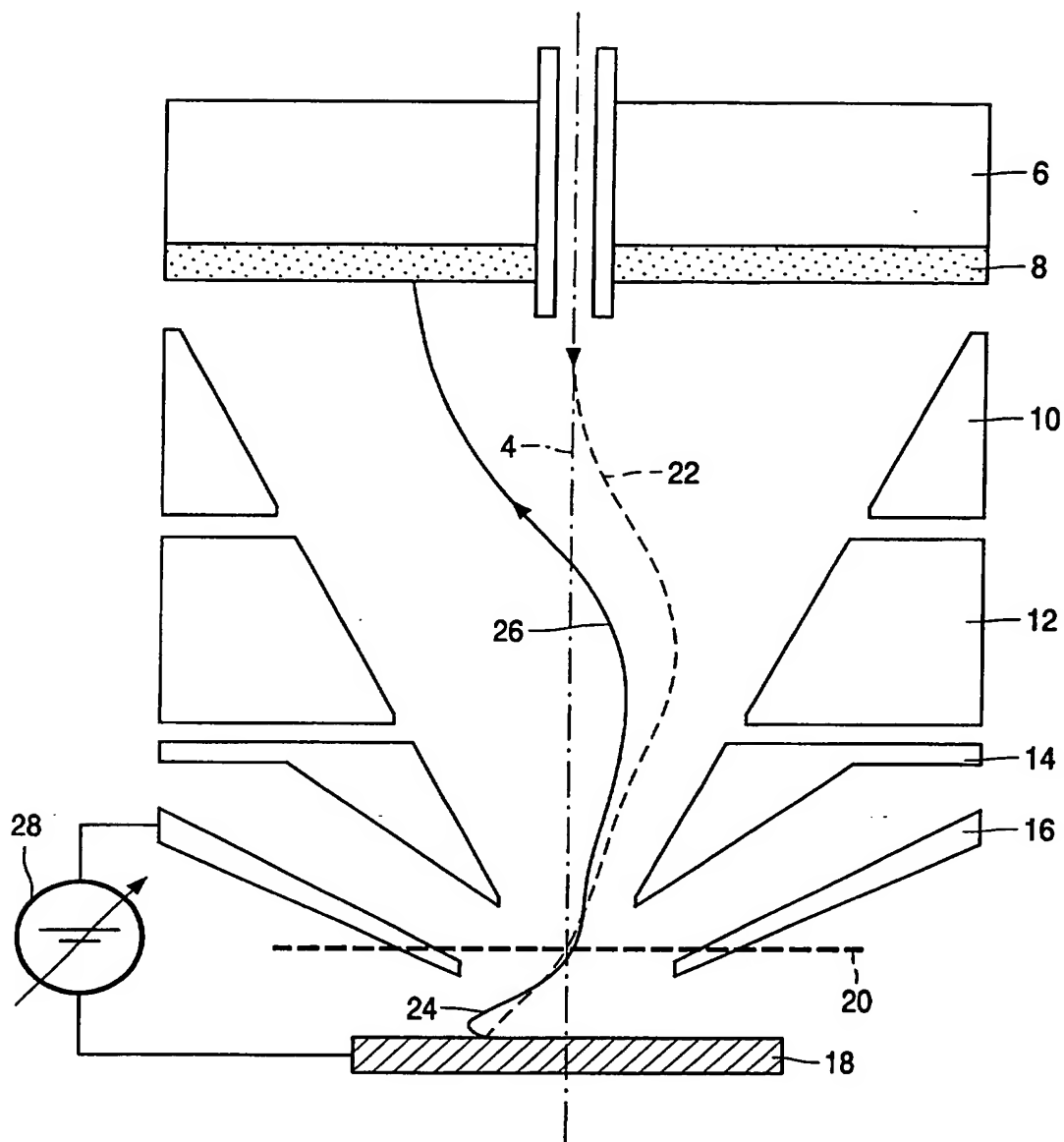


FIG. 1

2/9

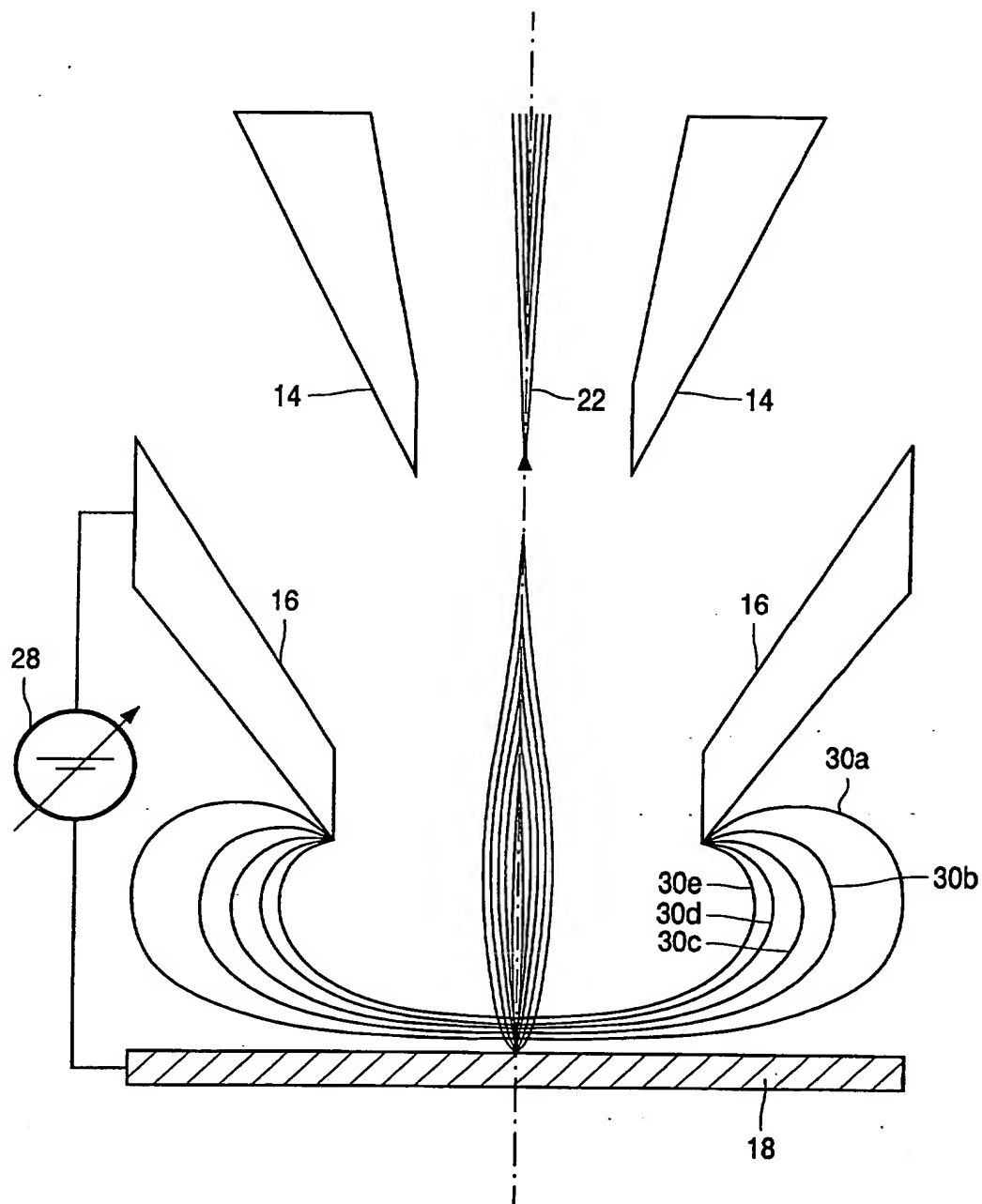


FIG. 2a

3/9

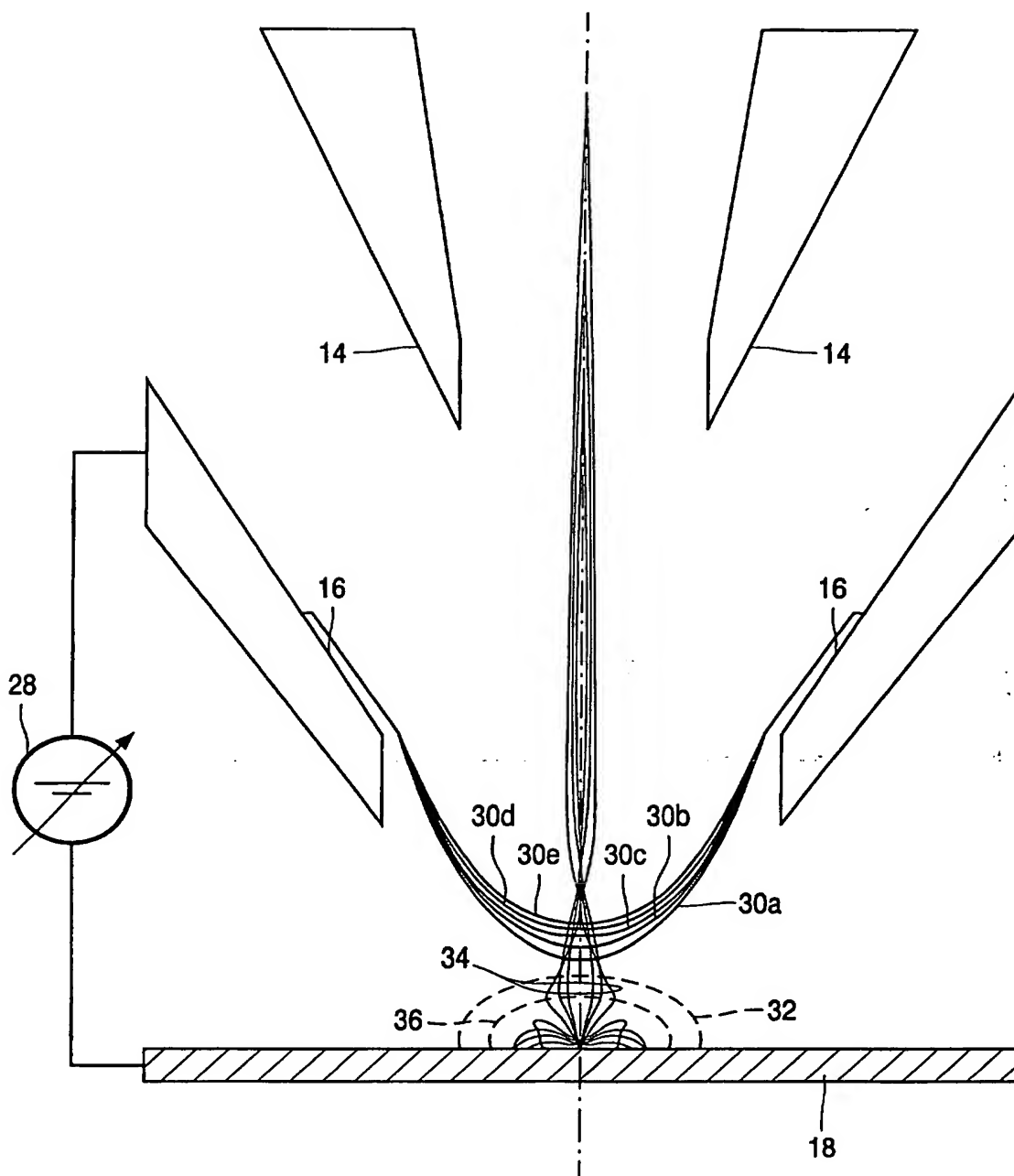


FIG. 2b

4/9

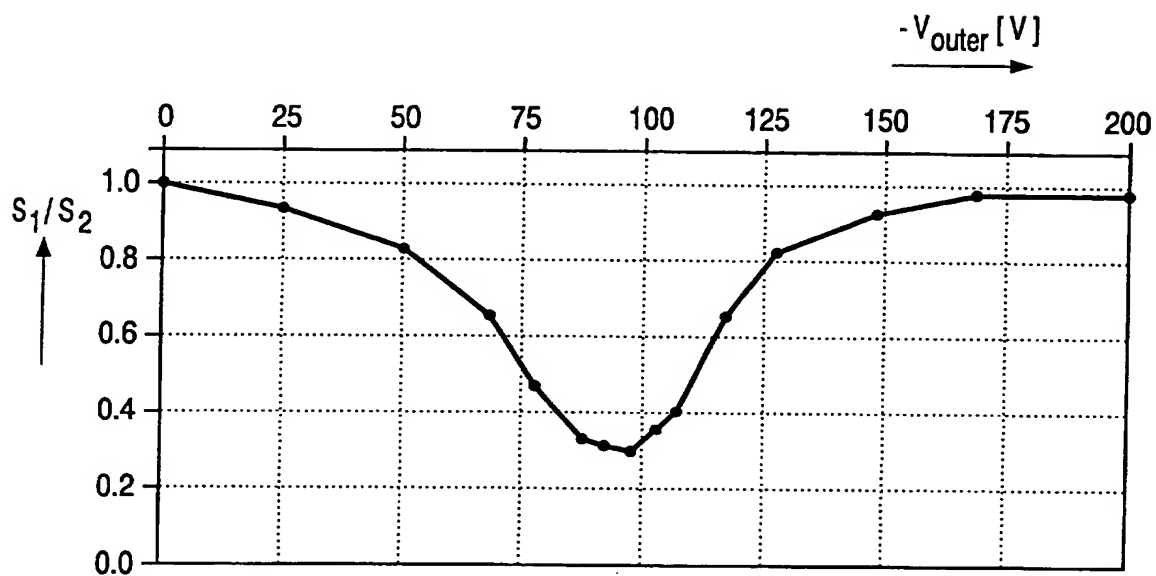


FIG. 3a

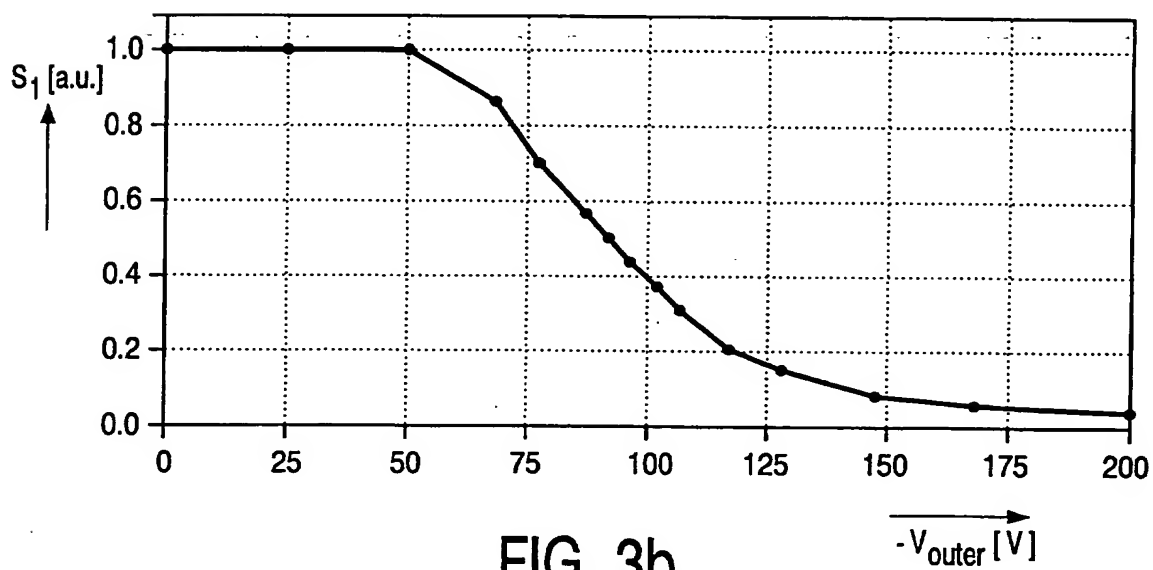


FIG. 3b

5/9

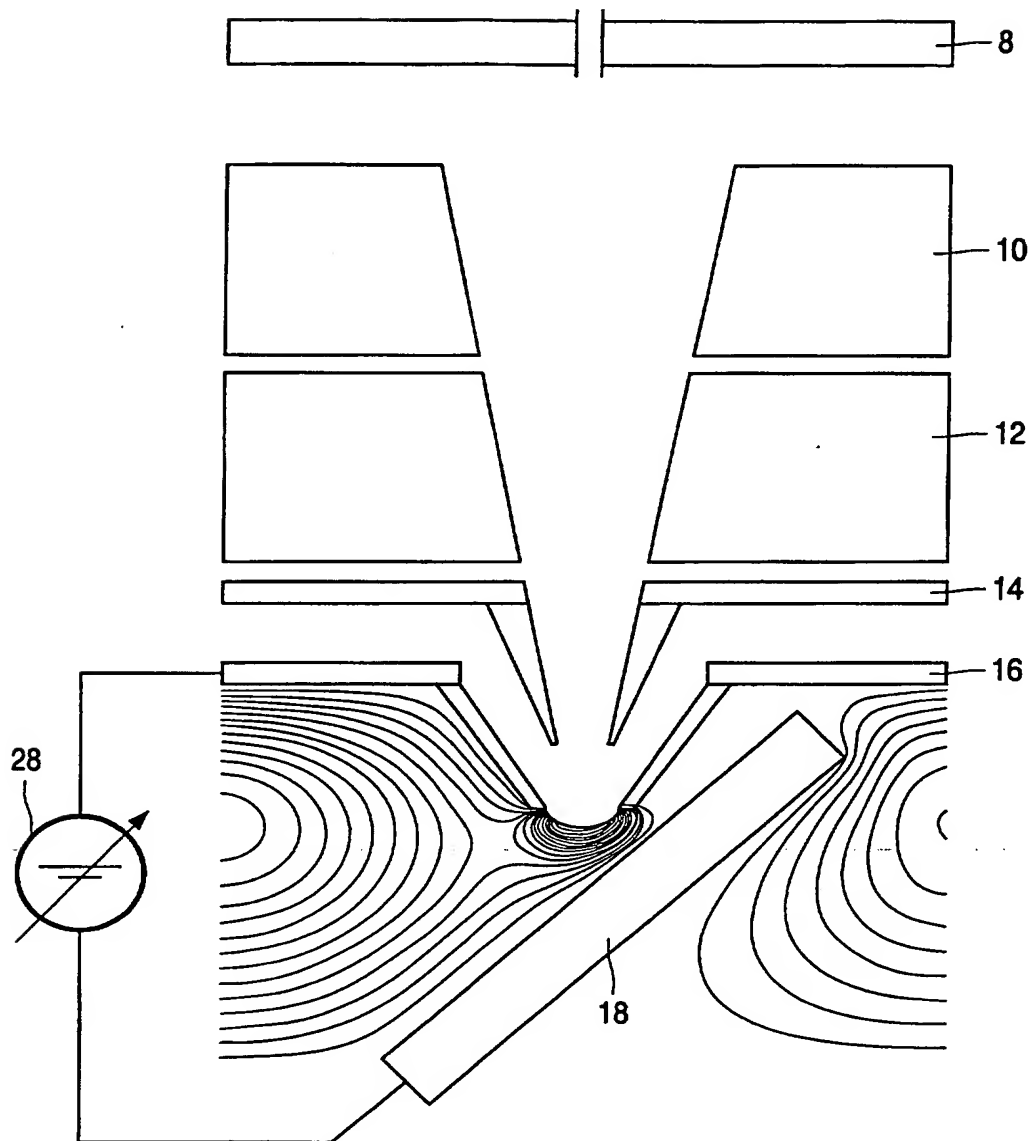


FIG. 4a

6/9

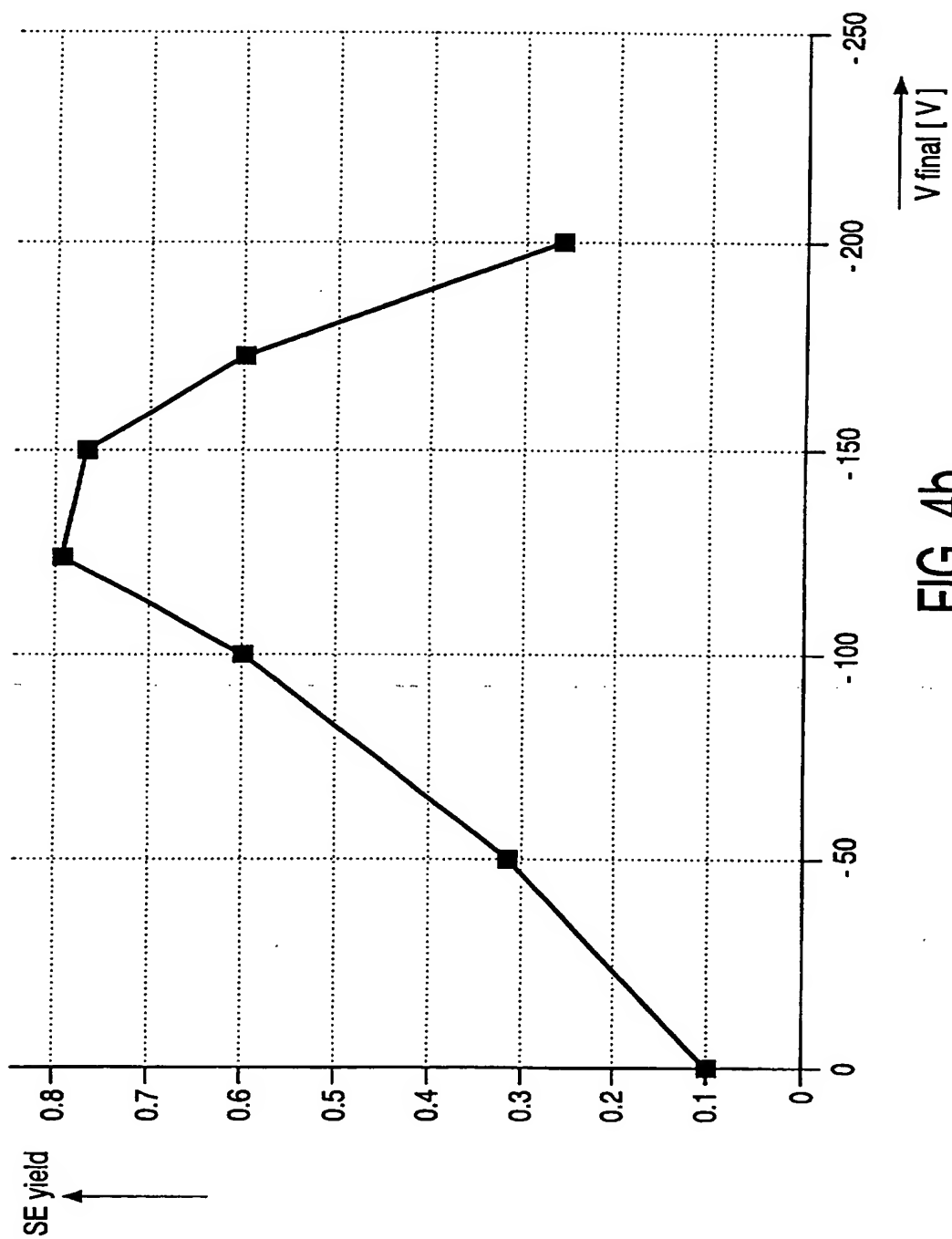


FIG. 4b

7/9

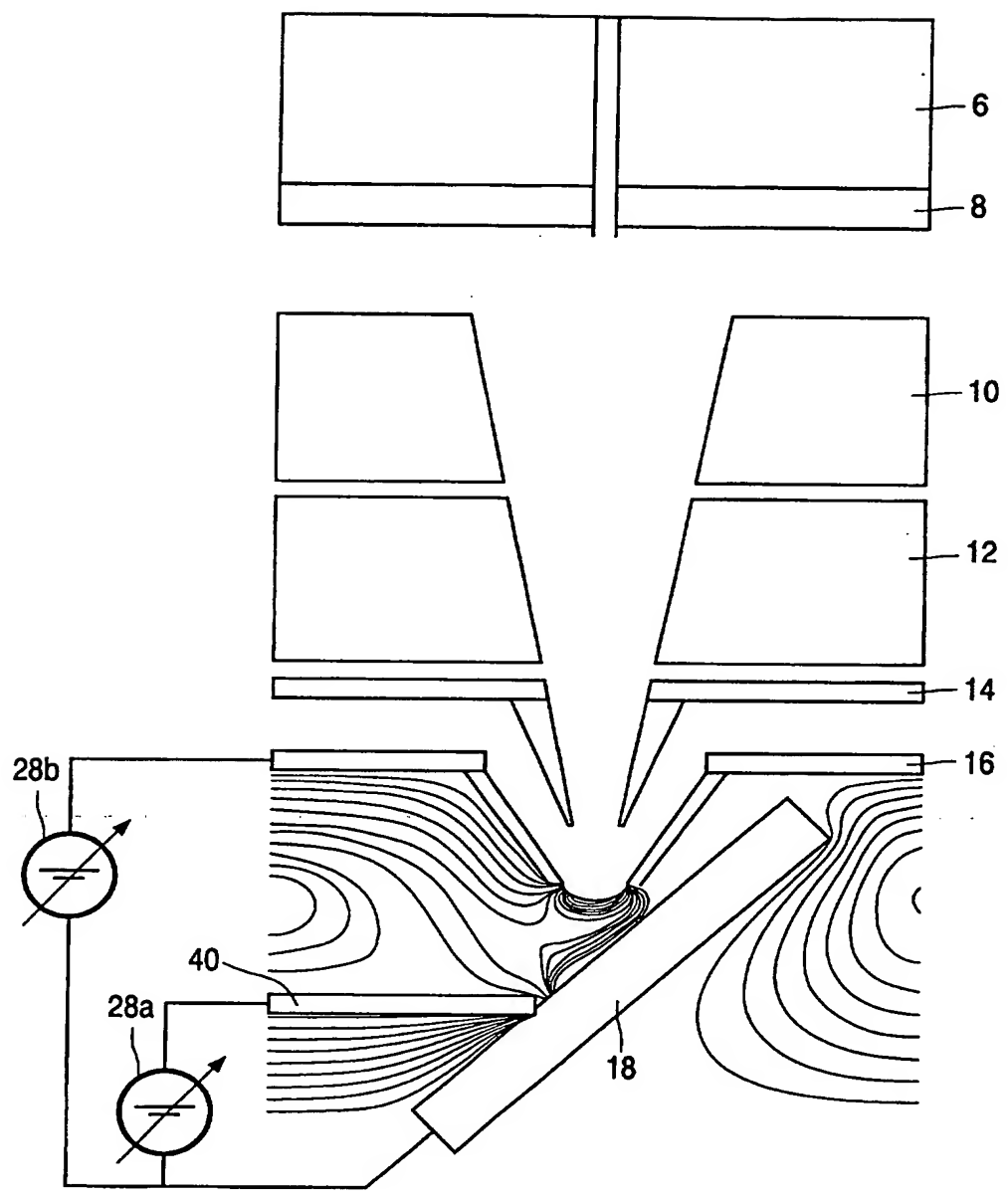


FIG. 5a

8/9

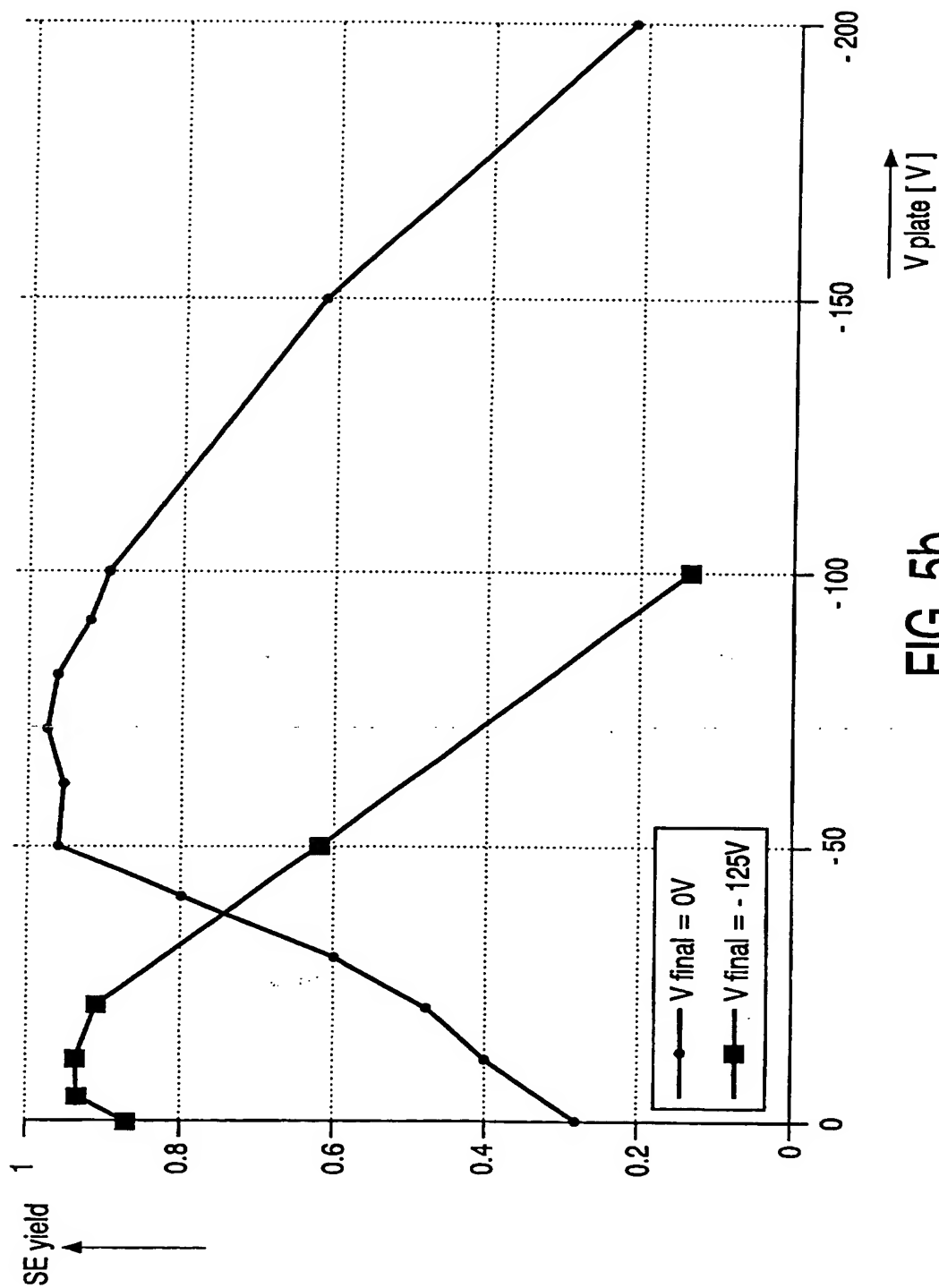


FIG. 5b

9/9

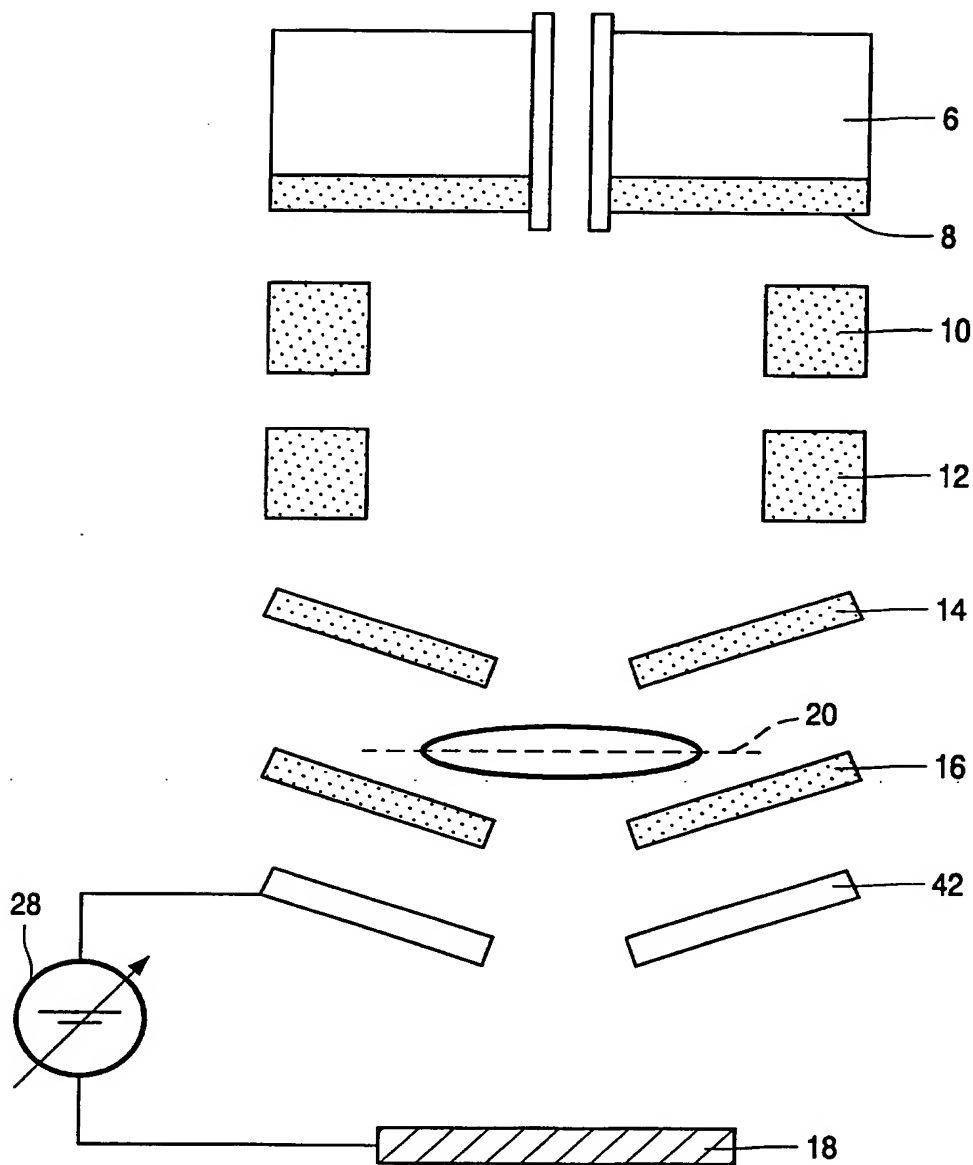


FIG. 6

THIS PAGE BLANK (USPTO)